

Atty. Dkt. No.
33082M103

PATENT

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant : Wenling WANG et al.

US Serial No. : New

Group Art Unit: To Be Assigned

Filed: : September 27, 2001

Examiner: To Be Assigned

For : HEAT TREATMENT APPARATUS AND CONTROLLER FOR HEAT
TREATMENT APPARATUS AND CONTROL METHOD FOR HEAT
TREATMENT APPARATUS

CLAIM FOR FOREIGN PRIORITY

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

JC857 U.S. PTO
09/963381
09/27/01

Sir:

Under the provisions of Section 119 of 35 U.S.C., Applicants hereby claim the benefit of Japanese application No. 2000-295262 filed in Japan on September 27, 2000, relating to the above-identified United States patent application.

In support of Applicants' claim for priority, a certified copy of said Japanese application is attached hereto.

Respectfully submitted,
SMITH, GAMBRELL & RUSSELL, LLP

By: 

Michael A. Makuch, Reg. No. 32,263
1850 M Street, N.W., Suite 800
Washington, D.C. 20036
Telephone: (202) 659-2811
Facsimile: (202) 263-4329

September 27, 2001

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年 9月27日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-295262

出 願 人

Applicant(s):

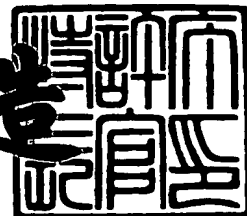
東京エレクトロン株式会社



2001年 8月10日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3072094

【書類名】 特許願

【整理番号】 JPP001099

【提出日】 平成12年 9月27日

【あて先】 特許庁長官 及川 耕造 殿

【国際特許分類】 H01L 21/205

【発明の名称】 熱処理装置、熱処理装置用制御装置

【請求項の数】 10

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県津久井郡城山町町屋 1 丁目 2 番 4 1 号 東京エレクトロン東北株式会社 相模事業所内

【氏名】 王 文凌

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県津久井郡城山町町屋 1 丁目 2 番 4 1 号 東京エレクトロン東北株式会社 相模事業所内

【氏名】 坂本 浩一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県津久井郡城山町町屋 1 丁目 2 番 4 1 号 東京エレクトロン東北株式会社 相模事業所内

【氏名】 朴 永哲

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県津久井郡城山町町屋 1 丁目 2 番 4 1 号 東京エレクトロン東北株式会社 相模事業所内

【氏名】 鈴木 富士雄

【特許出願人】

【識別番号】 000219967

【氏名又は名称】 東京エレクトロン株式会社

【代理人】

【識別番号】 100077849

【弁理士】

【氏名又は名称】 須山 佐一

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014395

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9104549

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 熱処理装置、熱処理装置用制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被処理体を加熱するための加熱部と、
前記被処理体と非接触の状態で開催された温度測定部と、
前記温度測定部による温度測定結果に基づき、前記被処理体の予測温度を算出する温度予測部と、
前記温度予測部によって算出された予測温度の予測誤差を算出する誤差予測部と、
前記誤差予測部によって算出された予測誤差に基づき、前記温度予測部によって算出された予測温度を補正した補正予測温度を算出する温度補正部と、
前記温度補正部によって算出された補正予測温度と設定温度と時間の関係を記述する温度レシピとに基づき、前記加熱部を制御する加熱制御部とを具備したことを特徴とする熱処理装置。

【請求項 2】 前記温度予測部による予測温度の算出および前記誤差予測部による予測誤差の算出を周期的に行うための計算周期を決定する計算周期決定部をさらに具備したことを特徴とする請求項 1 記載の熱処理装置。

【請求項 3】 前記計算周期決定部が、前記設定温度の変化率の絶対値の大きさに応じて、前記計算周期を決定することを特徴とする請求項 2 記載の熱処理装置。

【請求項 4】 前記計算周期決定部によって決定される計算周期が、所定の最小計算周期の整数倍であることを特徴とする請求項 2 記載の熱処理装置。

【請求項 5】 前記温度測定部が、前記加熱部近傍の温度を測定する加熱部近傍温度測定部と、前記被処理体近傍の温度を測定する被処理体近傍温度測定部とを具備し、

前記温度予測部が、前記加熱部の熱出力と前記加熱部近傍温度測定部によって測定された加熱部近傍温度と前記被処理体近傍温度測定部によって測定された被処理体近傍温度とに基づき、前記被処理体の予測温度を算出する

ことを特徴とする請求項 1 記載の熱処理装置。

【請求項 6】 前記温度予測部が、前記加熱部の熱出力と前記加熱部近傍温度測定部によって測定された加熱部近傍温度とに基づき前記被処理体近傍の予測温度を算出し、

前記誤差予測部が、前記被処理体近傍温度測定部によって測定された被処理体近傍温度と前記温度予測部によって算出された被処理体近傍予測温度と前記設定温度の温度変化率とに基づき前記予測誤差を算出する

ことを特徴とする請求項 1 記載の熱処理装置。

【請求項 7】 前記温度予測部が、前記計算周期決定部によって決定された計算周期が前記最短計算周期と異なるときに、前記予測温度を算出するためのデータの補間を行うデータ補間部を具備する

ことを特徴とする請求項 4 記載の熱処理装置。

【請求項 8】 前記誤差予測部が、前記計算周期決定部によって決定された計算周期が前記最短計算周期と異なるときに前記予測誤差を算出するためのデータの補間を行うデータ補間部を具備する

ことを特徴とする請求項 4 記載の熱処理装置。

【請求項 9】 被処理体を加熱するための加熱部と、前記被処理体と非接触の状態で設置された温度測定部とを具備する熱処理装置を制御するための制御装置であって、

前記温度測定部の測定結果に基づき前記被処理体の予測温度を算出する温度予測部と、

前記温度予測部によって算出された前記予測温度の予測誤差を算出する誤差予測部と、

前記誤差予測部によって算出された予測誤差に基づき、前記温度予測部によって算出された予測温度を補正した補正予測温度を算出する温度補正部と、

前記温度補正部によって算出された補正予測温度に基づき前記加熱部を制御する加熱制御部と

を具備したことを特徴とする熱処理装置用制御装置。

【請求項 10】 被処理体を加熱するための加熱部を具備する熱処理装置を

制御するための制御装置であって、

設定温度と時間の関係を記述する温度レシピに従って、前記加熱部を制御する加熱制御部と、

前記加熱制御部による前記加熱部の制御を周期的に行うための制御周期を前記設定温度の変化率に基づいて決定する制御周期決定部とを具備したことを特徴とする熱処理装置用制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、熱処理装置、熱処理装置の制御装置に関し、特に被処理体と非接触の状態で被処理体の温度を予測可能な熱処理装置、熱処理装置の制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

半導体製造プロセスにおいて、半導体ウエハ（以下ウエハという）等の被処理体に対して熱処理を行う装置の一つにバッチ処理を行う縦型熱処理装置がある。この装置は、ウエハボート等の保持具に多数枚のウエハを棚状に保持し、この保持具を縦型の熱処理炉の中に搬入して熱処理、例えばCVD（Chemical Vapor Deposition）、酸化処理等を行うものである。

【0003】

ウエハを熱処理する場合ウエハの温度を正確にコントロールする必要がある。例えばCVDによりウエハ上に薄膜を形成する場合、ウエハの温度によって膜厚が左右される。このため、熱処理装置の温度制御を高精度に行う必要がある。

【0004】

従来は、熱電対を付けたウエハを熱処理炉内に入れてウエハの温度を測定することにより温度制御を行っていた。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

熱電対付きウエハを熱処理炉内に入れると、熱電対をなす金属が熱処理炉内に

飛散して付着し、付着した金属がウエハに付着してメタル汚染を引き起こすおそれがある。

【 0 0 0 6 】

本発明は、このような事情の下になされたものであり、その目的は被処理体を汚染するおそれがなく、しかも高い精度で温度制御を行うことができる熱処理装置、熱処理装置の制御装置を提供することにある。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

(1) 上記目的を達成するために、本発明に係る熱処理装置は、被処理体を加熱するための加熱部と、前記被処理体と非接触の状態で設置された温度測定部と、前記温度測定部による温度測定結果に基づき、前記被処理体の予測温度を算出する温度予測部と、前記温度予測部によって算出された予測温度の予測誤差を算出する誤差予測部と、前記誤差予測部によって算出された予測誤差に基づき、前記温度予測部によって算出された予測温度を補正した補正予測温度を算出する温度補正部と、前記温度補正部によって算出された補正予測温度と設定温度と時間の関係を記述する温度レシピとに基づき、前記加熱部を制御する加熱制御部とを具備したことを特徴とする。

【 0 0 0 8 】

被処理体と非接触に設置された温度測定部により温度が測定され、その測定結果に基づき被処理体の温度が予測される。そして、この予測温度を予測誤差に基づいて補正する。その結果、被処理体と非接触でしかも精度良く被処理体の温度が予測される。

【 0 0 0 9 】

(2) 本発明に係る熱処理装置用制御装置は、被処理体を加熱するための加熱部と、前記被処理体と非接触の状態で設置された温度測定部とを具備する熱処理装置を制御するための制御装置であって、前記温度測定部の測定結果に基づき前記被処理体の予測温度を算出する温度予測部と、前記温度予測部によって算出された前記予測温度の予測誤差を算出する誤差予測部と、前記誤差予測部によって算出された予測誤差に基づき、前記温度予測部によって算出された予測温度を補正

した補正予測温度を算出する温度補正部と、前記温度補正部によって算出された補正予測温度に基づき前記加熱部を制御する加熱制御部とを具備したことを特徴とする。

【 0 0 1 0 】

(3) 本発明に係る熱処理装置用制御装置は、被処理体を加熱するための加熱部を具備する熱処理装置を制御するための制御装置であって、設定温度と時間の関係を記述する温度レシピに従って、前記加熱部を制御する加熱制御部と、前記加熱制御部による前記加熱部の制御を周期的に行うための制御周期を前記設定温度の変化率に基づいて決定する制御周期決定部とを具備したことを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

設定温度の変化率に基づいて制御の周期を変えることで、制御の精密性と効率性の双方の勘案が可能となる。

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】

(第1実施形態)

以下に本発明の第1の実施形態に係る縦型熱処理装置について説明する。

図1、図2はそれぞれ、本発明に係る縦型熱処理装置の一部断面図および斜視図である。

本発明に係る縦型熱処理装置は、図1に示すように、例えば石英で作られた内管2a及び外管2bよりなる二重管構造の反応管2を備え、反応管2の下部側には金属製の筒状のマニホールド21が設けられている。

【 0 0 1 3 】

内管2aは上端が開口されており、マニホールド21の内側で支持されている。外管2bは上端が塞がれており、下端がベースプレート22の下側にてマニホールド21の上端に気密に接合されている。

【 0 0 1 4 】

前記反応管2内には、図2に示すように、多数枚の被処理体をなす半導体ウエハWが各々水平な状態で上下に間隔をおいて保持具であるウエハポート23に棚状に載置されており、このウエハポート23は蓋体24の上に保温筒(断熱体)

25を介して保持されている。

【0015】

反応管2の周囲には被処理体たるウエハWを加熱する加熱部として、例えば抵抗加熱体よりなるヒータ3が設けられている。ヒータ3はゾーン1～5に5分割されていて、各ヒータ31～35が電力コントローラ41～45により独立して発熱量を制御できるようになっている。ここで、電力コントローラ41～45は、それぞれヒータ31～35の熱出力を測定するための電力センサS1p～S5pを備えているものとする。

【0016】

内管2aの内壁には、ヒータ31～35の各ゾーン1～5に対応して、ウエハ近傍の温度を測定するために熱電対等の被処理体近傍温度測定部としての内側温度センサS1in～S5inが設置されている。また、外管2bの外壁にはヒータ31～35の各ゾーン1～5に対応して、ヒータ近傍の温度を測定するために熱電対等の加熱部近傍温度測定部としての外側温度センサS1out～S5outが設置されている。

【0017】

モニタウエハW1～W5が、ヒータ31～35の各ゾーン1～5にそれぞれ対応した位置に載置されている。後述のように、モニタウエハW1～W5の温度は、温度センサSin (S1in～S5in)、Sout (S1out～S5out)、および電力センサSp (S1p～S5p)の測定信号から予測される。

【0018】

マニホールド21には、内管2a内にガスを供給するように複数のガス供給管が設けられており、図1では便宜上2本のガス供給管51、52を示してある。各ガス供給管51、52には、ガス流量をそれぞれ調整するための例えばマスフローコントローラなどの流量調整部61、62やバルブ（図示せず）などが介設されている。

【0019】

更にまたマニホールド21には、内管2aと外管2bとの隙間から排気するように排気管27が接続されており、この排気管27は図示しない真空ポンプに接

続されている。排気管 27 の途中には反応管 2 内の圧力を調整するための例えばバタフライバルブやバルブ駆動部などを含む圧力調整部 28 が設けられている。

【0020】

この縦型熱処理装置は、反応管 2 内の処理雰囲気温度、反応管 2 内の圧力、ガス流量といった処理パラメータを制御するためのコントローラ 100 を備えている。このコントローラ 100 には、電力センサ S_p ($S_{1p} \sim S_{5p}$)、温度センサ S_{in} ($S_{1in} \sim S_{5in}$)、 S_{out} ($S_{1out} \sim S_{5out}$) からの測定信号が入力され、ヒータ 3 の電力コントローラ 41~45、圧力調整部 28、流量調整部 61、62 に制御信号を出力する。

【0021】

次にコントローラ 100 の詳細について述べる。

図 3 は、コントローラ 100 の内部構成のうち、ヒータ 3 の制御に係る部分の詳細を示すブロック図である。

【0022】

図 3 に示すようにコントローラ 100 は、電力センサ S_p 、温度センサ S_{out} 、 S_{in} のアナログ測定信号をディジタル測定信号に変換する A/D (Analog/Digital) 変換部 110、ウエハの予測温度を算出する温度予測部 120、温度予測部 120 によって算出されたウエハ予測温度 T' の予測誤差 ΔT を算出する誤差予測部 130、算出されたウエハ予測温度 T' と予測誤差 ΔT を加算してウエハの補正予測温度 T'' を算出する温度補正部としての加算部 140、ウエハを熱処理するための設定温度と時間の関係が記述された温度レシピが保存された温度レシピ保存部 150、補正予測温度 T'' と温度レシピ保存部 150 の温度レシピ上の設定温度 T_{sp} とに基づき電力コントローラ 41~45 に電力制御信号 P' を出力する加熱制御部 160、温度予測部 120 と誤差予測部 130 の計算周期 t_s を決定する計算周期決定部 170 から構成される。

【0023】

そして、温度予測部 120 は、計算周期 t_s に応じてウエハ W の予測温度 T' の算出に必要なデータの補間を行う第 1 のデータ補間部 122 とウエハの予測温度 T' を算出するための温度予測モデル部 124 とから構成され、誤差予測部 1

30は、計算周期 t_s に応じてウエハWの予測温度の予測誤差 ΔT の算出に必要なデータの補間を行う第2のデータ補間部132とウエハの予測温度の予測誤差 ΔT を算出するための誤差予測モデル部134とから構成される。

【0024】

図4は、コントローラ100によるヒータ3の制御手順を表すフロー図である。以下、このフロー図に基づき温度制御の手順を説明する。

(A) 計算周期決定部170により、温度レシピ保存部150の温度レシピに記述された設定温度 T_{sp} の変化率 RR に基づき計算周期 t_s が決定される(S11)。

【0025】

設定温度の変化率 RR 、ひいてはウエハ温度の変化率に対応して計算周期 t_s を設定することで、演算あるいは制御要素を効率的に利用することが可能となる。即ち、設定温度 T_{sp} の変化率 RR が小さいときには計算の間隔を長くしても差し支えないので、図示しないCPU (Central Processing Unit) 等の演算・制御要素を他の処理にふりむけることができる。この一方、設定温度の変化率 RR が大きいときには短い計算周期でウエハの予測温度等を算出することで、精密にウエハWの温度を制御することができる。

【0026】

温度レシピ保存部150の温度レシピは、ウエハWを熱処理するための目標温度となる設定温度 T_{sp} と時間の関係を表したものである。図5、図6に温度レシピの例を示す。

【0027】

図5は時間を区分して、区分した時間に対する設定温度 T_{sp} (Set Point) とその変化率 RR (Ramp Rate) の関係を表形式で対応させて表したものである。一方、図6は時間と設定温度 T_{sp} の関係をグラフ形式で表したものである。

【0028】

図5、図6は表現形式が異なるだけで同一の温度レシピを表したものである。時刻 $t_0 \sim t_1$ では設定温度は 300°C と一定に保たれ、時刻 $t_1 \sim t_2$ では設

定温度 T_{sp} は $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の変化率で $300^{\circ}\text{C} \sim 310^{\circ}\text{C}$ まで変化している。また、それぞれ時刻 $t_2 \sim t_3$ 、時刻 $t_3 \sim t_4$ 、時刻 $t_4 \sim t_5$ では、それぞれの設定温度 T_{sp} は、変化率 RR が 20 、 50 、 $100^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で、それぞれ $310 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 、 $350 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 、 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ の間で上昇している。時刻 $t_5 \sim t_6$ では設定温度は 500°C で一定に保たれ、それぞれ時刻 $t_6 \sim t_7$ 、時刻 $t_7 \sim t_8$ 、時刻 $t_8 \sim t_9$ では、それぞれの設定温度 T_{sp} は -100 、 -50 、 $-10^{\circ}\text{C}/\text{min}$ の変化率 RR で、 $500 \sim 400^{\circ}\text{C}$ 、 $400 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 、 $350 \sim 300^{\circ}\text{C}$ の間で下降している。そして、時刻 t_9 以降では、設定温度は 300°C で一定に保たれている。

【0029】

これら図5、6は実質的に同一であり、本発明の実施に際してはいずれの形式を採用しても差し支えない。即ち、温度レシピはその表現形式を問わず、各時刻に対応して設定温度 T_{sp} と設定温度の変化率 RR を求めることができれば良い。設定温度の変化率 RR は各時刻における設定温度 T_{sp} から算出しても差し支えない。

【0030】

設定温度の変化率 RR を基に、計算周期 t_s を決定する。このときの決定方法の1例を次の式(1)～(4)に表す。

$$t_s = 0.5 [\text{sec}] \quad (|RR| \geq 50 [^{\circ}\text{C}/\text{min}]) \quad \dots (1)$$

$$t_s = 1.0 [\text{sec}] \quad (25 \leq |RR| < 50 [^{\circ}\text{C}/\text{min}]) \quad \dots (2)$$

$$t_s = 2.0 [\text{sec}] \quad (10 \leq |RR| < 25 [^{\circ}\text{C}/\text{min}]) \quad \dots (3)$$

$$t_s = 4.0 [\text{sec}] \quad (0 \leq |RR| < 10 [^{\circ}\text{C}/\text{min}]) \quad \dots (4)$$

【0031】

式(1)より計算周期 t_s は設定温度の変化率 RR が $50^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 以上のときに最短計算周期 $\Delta t = 0.5 \text{ sec}$ をとる。そして、計算周期 t_s は $0.5 \sim 4 \text{ sec}$ の間で設定温度変化率 RR の絶対値が大きくなるに従い小さくなっている。

【0032】

なお、式(1)～(4)の例では、計算周期 t_s は、最短計算周期を2の累乗

倍した値をとっているが、最短計算周期 Δt の整数倍であれば差し支えない。

【0033】

(B) 計算周期 t_s が最短計算周期 Δt と等しいか否かがデータ補間部122により判断される(S12)。

【0034】

この判断がYesであれば温度予測モデル部124によってウエハの予測温度 T' が算出され(S13)、一方S12の判断がNoであれば温度予測の計算に必要なデータの補間がデータ補間部122により行われた後に(S14)、温度予測モデル部124によって予測温度 T' が算出される(S13)。

【0035】

ウエハの予測温度 T の算出にはA/D変換部110のデジタル信号出力(ウエハ近傍温度 T_{in} ($T_{1in} \sim T_{5in}$)、ヒータ近傍温度 T_{out} ($T_{1out} \sim T_{5out}$)、ヒータの熱出力 P ($P_1 \sim P_5$))が利用される。A/D変換部110では周期的にアナログ信号入力をデジタル信号出力に変換し出力されている。そして、このサンプリング間隔は、最短計算周期 Δt と一致していることがこのA/D変換部110をも含めた演算・制御要素の効率的な利用を図る上で好ましい。

【0036】

① ここで、S13の温度予測の詳細を説明する。

ここでは、ウエハ近傍温度 T_{in} 、ヒータ近傍温度 T_{out} 、およびヒータ3の熱出力 P ($P_1 \sim P_5$)に基づき、ウエハ予測温度 T' (ウエハ中央近傍の中央予測温度 $T_{c'}$ ($T_{c1'} \sim T_{c5'}$)およびウエハ周縁近傍の周縁予測温度 $T_{e'}$ ($T_{e1'} \sim T_{e5'}$))、ウエハの近傍予測温度 $T_{in'}$ ($T_{in1'} \sim T_{in5'}$)を算出する。なお、添え字1～5はそれぞれゾーン1～5に対応する。

【0037】

S13の温度予測には、次の式(5)で表されるパラメータモデルを利用することができる。

$$y(k) = -a_1 \cdot y(k-1) - a_2 \cdot y(k-2) - a_3 \cdot y(k-3)$$

$$\begin{aligned}
& -\dots - a_i \cdot y(k-i) \dots - a_{16} \cdot y(k-16) \\
& + b_1 \cdot u(k-1) + b_2 \cdot u(k-2) + b_3 \cdot u(k-3) \\
& + \dots + b_i \cdot u(k-i) \dots + b_{16} \cdot u(k-16) \\
& + w(k) \qquad \qquad \qquad \dots (5)
\end{aligned}$$

【0038】

ここで、

$y(k)$: 1周期後 (Δt [sec] 後) の出力ベクトル

$y(k-1)$: 現在の出力ベクトル

$y(k-i)$: $(i-1)$ 周期前 ($(i-1) \cdot \Delta t$ [sec] 前) の出力ベクトル

$u(k-1)$: 現在の入力ベクトル

$u(k-i)$: $(i-1)$ 周期前 ($(i-1) \cdot \Delta t$ [sec] 前) の入力ベクトル

$w(k)$: 雑音ベクトル (白色雑音)

である。

【0039】

また、ベクトル $u(k-i)$, $y(k-i)$, $w(k)$ の具体的内容は以下の式 (6) ~ (8) のように表される。

$$\begin{aligned}
u(k-i) = & (P_1, P_2, \dots, P_5, \\
& T_{1out}, T_{2out}, \dots, T_{5out}, \\
& T_{1in}, T_{2in}, \dots, T_{5in}) \qquad \dots (6)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
y(k-i) = & (T_{1c'}, T_{2c'}, \dots, T_{5c'}, \\
& T_{1e'}, T_{2e'}, \dots, T_{5e'}, \\
& T_{1in'}, T_{2in'}, \dots, T_{5in'}) \qquad \dots (7)
\end{aligned}$$

$$w(k) = (w_1(k), w_2(k), \dots, w_{15}(k)) \qquad \dots (8)$$

【0040】

式 (5) は、16次のパラメトリックモデルであり、現在、過去の入力ベクトル $u(k-i)$ 、現在、過去の出出力ベクトル $y(k-i)$ に基づき1周期後の出力ベクトル $y(k)$ を算出する。

【0041】

算出された1周期後の出力ベクトル $y(k)$ はその次の計算（このとき k には1が加算される）において出力ベクトルの現在値 $y(k-1)$ として使用される。このようにして、入力ベクトル $u(k-i)$ が判れば1周期後の出力ベクトル $y(k)$ を逐次計算することができる。

【0042】

即ち、ヒータの熱出力 $P(P1 \sim P5)$ 、ヒータ近傍温度 $T_{out}(T1_{out} \sim T5_{out})$ 、ウエハ近傍温度 $T_{in}(T1_{in} \sim T5_{in})$ の実測値に基づき、ウエハの中央予測温度 $T_c(T1_{c'} \sim T5_{c'})$ 、ウエハの周縁予測温度 $T_{e'}(T1_{e'} \sim T5_{e'})$ 、ウエハ近傍の予測温度 $T_{in'}(T1_{in'} \sim T5_{in'})$ を算出することができる。

【0043】

なお、ウエハ近傍予測温度 $T_{in'}$ の算出は後のS16における誤差予測のために行っているものであり、誤差予測を行う必要がなければ出力ベクトル $y(k-i)$ は次の式(9)のようにウエハ近傍予測温度 $T_{in'}$ を含まなくても差し支えない。

$$y(k-i) = (T1_{c'}, T2_{c'}, \dots, T5_{c'}, \\ T1_{e'}, T2_{e'}, \dots, T5_{e'}) \quad \dots (9)$$

【0044】

また、ここでは1つのモデルでウエハ予測温度 T' とウエハ近傍予測温度 $T_{in'}$ の双方を算出しているが、この両者を別個のモデルを用いて算出することも可能である。例えば、ウエハ予測温度 T' の算出には以下の式(10)～(13)を、ウエハ近傍予測温度 $T_{in'}$ の算出には式(14)～(17)をそれぞれ用いたモデルとすることができる。

$$y_1(k) = -a_{11} \cdot y_1(k-1) - a_{12} \cdot y_1(k-2) \\ - \dots - a_{1i} \cdot y_1(k-i) \dots - a_{116} \cdot y_1(k-16) \\ + b_{11} \cdot u_1(k-1) + b_{12} \cdot u_1(k-2) \\ + \dots + b_{1i} \cdot u_1(k-i) \dots + b_{116} \cdot u_1(k-16) \\ + w_1(k) \quad \dots (10)$$

$$\begin{aligned} u_1(k-i) = & (P_1, \dots, P_5, \\ & T_{1out}, \dots, T_{5out}, \\ & T_{1in}, \dots, T_{5in}) \end{aligned} \quad \dots (11)$$

$$\begin{aligned} y_1(k-i) = & (T_{1c'}, \dots, T_{5c'}, \\ & T_{1e'}, \dots, T_{5e'}) \end{aligned} \quad \dots (12)$$

$$w_1(k) = (w_{11}(k), \dots, w_{116}(k)) \quad \dots (13)$$

【0045】

$$\begin{aligned} y_2(k) = & -a_{21} \cdot y_2(k-1) - a_{22} \cdot y_2(k-2) \\ & - \dots - a_{2i} \cdot y_2(k-i) \dots - a_{216} \cdot y_2(k-16) \\ & + b_{21} \cdot u_2(k-1) + b_{22} \cdot u_2(k-2) \\ & + \dots + b_{2i} \cdot u_2(k-i) \dots + b_{216} \cdot u_2(k-16) \\ & + w_2(k) \end{aligned} \quad \dots (14)$$

$$\begin{aligned} u_2(k-i) = & (P_1, \dots, P_5, \\ & T_{1out}, \dots, T_{5out}) \end{aligned} \quad \dots (15)$$

$$y_2(k-i) = (T_{1in'}, \dots, T_{5in'}) \quad \dots (16)$$

$$w_2(k) = (w_{21}(k), \dots, w_{216}(k)) \quad \dots (17)$$

【0046】

式(5)等のパラメータ $a_1 \sim a_{16}$ 、 $b_1 \sim b_{16}$ 、雑音ベクトル $w(k)$ 等は、出力ベクトル $y(k)$ の計算に際し事前に決定される。

【0047】

パラメータ $a_1 \sim a_{16}$ 、 $b_1 \sim b_{16}$ 、雑音ベクトル $w(k)$ の決定には、部分空間法や自己回帰モデル(Auto-Regressive Exogenous Model、以下「ARXモデル」という)を用いることができる。

【0048】

具体的には、温度センサ $S_{1in} \sim S_{5in}$ 、 $S_{1out} \sim S_{5out}$ の測定信号及びモニタウエハ $W_1 \sim W_5$ の実測温度(モニタウエハに熱電対等の温度センサを設置する)のデータを例えばソフトウェアMatlab(製造:The MathWorks, Inc.、販売:サイバネットシステム株式会社)に入力することで、パラメータ $a_1 \sim a_{16}$ 、 $b_1 \sim b_{16}$ 、雑音ベクトル $w(k)$

を逆算できる。

【 0 0 4 9 】

求められたパラメータ $a_1 \sim a_{16}$ 、 $b_1 \sim b_{16}$ 、雑音ベクトル $w(k)$ の組合せは、複数存在するのが通例である。この組合せから、式 (5) から算出された推定温度 $T_1' \sim T_5'$ とモニタウエハの実測温度との一致が良好なものを選択する (モデルの評価)。

【 0 0 5 0 】

なお、このときのモデルの次数は通常高次であるため、適宜低次元化して例えば 16 次のモデルとする。

【 0 0 5 1 】

② 次にデータの補間工程 (S 1 4) につき説明する。

計算周期 t_s が最短計算周期 Δt と等しい場合には、式 (5) に過去に算出した出力ベクトル $y(k-i)$ の値をそのまま代入すればよいが、計算周期 t_s が最短計算周期 Δt と異なる (大きい) 場合には式 (5) 等への代入に際してデータが不足する。このため、データの補間が必要になる。

【 0 0 5 2 】

ここで、計算周期 t_s が最短計算周期 Δt の n 倍であるとする ($t_s = n \cdot \Delta t$)。このとき式 (5) による算出された出力ベクトル $y(k)$ の算出は n 個おきに行われる。即ち、式 (5) において $k = n \cdot m$ のときにのみ計算が行われる (m : 整数)。

【 0 0 5 3 】

例えば $n = 4$ のときには、 k は次の式 (18) のようになり、例えば $k = 1 \sim 3$ 、 $5 \sim 7$ のときの出力ベクトルのデータを補間する必要がある。

$$k = 0, 4, 8, 12, 16, \dots \quad \dots (18)$$

【 0 0 5 4 】

式 (5) において、 $k = n \cdot m$ としたとき、前回算出された出力ベクトル $y(k)$ は $k = n \cdot (m-1)$ であり、そのまた前回算出された出力ベクトル $y(k)$ は $k = n \cdot (m-2)$ となる。このとき以下のように補間を行う。

【 0 0 5 5 】

[illegible]

(2) $k = n \cdot (m-1)$ と $k = n \cdot (m-2)$ 間のデータ補間

$k = n \cdot (m-1)$ と $k = n \cdot (m-2)$ 間の出力ベクトルは、前回算出した出力ベクトル $y(n \cdot (m-1))$ と前前回算出した出力ベクトル $y(n \cdot (m-2))$ の内挿値を用いることができる。例えば、以下の式(20)のように、前回の出力ベクトル $y(n \cdot (m-1))$ と前前回の出力ベクトル $y(n \cdot (m-2))$ の直線近似を用いて内挿することができる。

$$\begin{aligned}
& y(n \cdot (m-1) - 1) \\
&= [1 \cdot y(n \cdot (m-2)) + (n-1) \cdot y(n \cdot (m-1))] / n \\
&\dots\dots\dots \\
& y(n \cdot (m-1) - i) \\
&= [i \cdot y(n \cdot (m-2)) + (n-i) \cdot y(n \cdot (m-1))] / n \\
&\dots\dots\dots \\
& y(n \cdot (m-2) + 1) \\
&= [(n-1) \cdot y(n \cdot (m-2)) + 1 \cdot y(n \cdot (m-1))] / n \\
&\qquad\qquad\qquad \dots (20)
\end{aligned}$$

内挿法としては、式(20)の直線近似以外にも、放物線近似等種々の内挿法を用いることができる。

【0058】

また、 $k = n \cdot m$ と $k = n \cdot (m-1)$ 間のデータ補間も式(19)（前回の出力ベクトル $y(k)$ の計算値そのままを用いる）以外の方法を用いることができる。例えば、前回と前々回の出力ベクトルの値に基づき外挿を行っても差し支えない。

【0059】

次の式(21)に、前回と前々回の出力ベクトルの値を基に直線的に外挿を行った例を示す。

$$\begin{aligned}
 & y(n \cdot m - 1) \\
 &= [(2n - 1) \cdot y(n \cdot (m - 1)) \\
 &\quad - (n - 1) \cdot y(n \cdot (m - 2))] / n \\
 &\dots\dots\dots \\
 & y(n \cdot (m - 1) + i) \\
 &= [(n + i) \cdot y(n \cdot (m - 1)) - i \cdot y(n \cdot (m - 2))] / n \\
 &\dots\dots\dots \\
 & y(n \cdot (m - 1) + 1) \\
 &= [(n + 1) \cdot y(n \cdot (m - 1)) - 1 \cdot y(n \cdot (m - 2))] / n \\
 &\dots\dots\dots (21)
 \end{aligned}$$

【0060】

(3) $k = n \cdot (m - 2)$ 以前のデータ補間

$k = n \cdot (m - 2)$ 以前の出力ベクトル $y(k - i)$ の値は、前回の出力ベクトル $y(k)$ の算出に用いた出力ベクトル $y(k - i)$ の値をそのまま用いれば良い。

このようにして、式(20)、(21)を用いてデータの補間を行い、温度予測を行うことができる。

【0061】

以上において、計算周期が短いものから長いものへ切り替えたときは、切替の初期において計算周期の短いときに計算した出力ベクトル $y(k - i)$ を式(5)の計算に用いることができる。要するに、適切な出力ベクトル $y(k - i)$ の

値が既にあればその値を用い、適当な値がなければ内挿、外挿等により補間を行い、現在あるいは過去の出力ベクトルを求める。

【0062】

(C) 計算周期が最短計算周期と等しいか否かが判断され(S15)、この判断がYesであればウエハの予測誤差 ΔT が算出され(S16)、一方S15の判断がNoであれば温度予測の計算必要なデータの補間が行われた後に(S17)予測誤差 ΔT が算出される(S16)。

【0063】

S15の誤差予測の詳細を説明する。

誤差予測は、ウエハの予測温度 T' (T_c' 、 T_e') の値と実測温度 T (T_c 、 T_e) との差を予測するものである。即ち、理想的には予測誤差 ΔT (ウエハ中央近傍の中央予測誤差 ΔT_c およびウエハ周縁近傍の周縁予測誤差 ΔT_e) は以下の式(22)で表される。

$$\Delta T = T - T' \quad \dots (22)$$

【0064】

実際には、ウエハの実測温度 T の測定を行わないことから、ウエハの予測誤差 ΔT は他のパラメータとの関係を基に予測しなければならない。このパラメータとしてウエハ近傍の予測温度 T_{in}' とウエハ近傍の実測温度の差をとった近傍予測誤差 ΔT_{in} を用いることができる。ここで、近傍予測誤差 ΔT_{in} は次の式(23)により算出できる。

$$\Delta T_{in} = T_{in} - T_{in}' \quad \dots (23)$$

【0065】

ウエハの自体の温度とその近傍の温度とは密接な関係があると予想され、経験的にも予測誤差 ΔT は近傍予測誤差 ΔT_{in} と関連をもった値になっている。この結果、モデルを作成することで近傍予測誤差 ΔT_{in} からウエハの予測誤差 ΔT を算出することが可能になる。その他、設定温度の変化率 R_R もウエハの予測誤差 ΔT と密接な関係があるのでこれも考慮に入れる。

【0066】

結局、近傍予測誤差 ΔT_{in} 、および設定温度の変化率 R_R に基づき、ウエハ

の予測誤差 ΔT を算出する。

【0067】

S16の予測誤差の算出には、式(5)とほぼ同様の次の式(24)で表されるパラメータモデルを利用することができる。

$$\begin{aligned} y(k) = & -a_1 \cdot y(k-1) - a_2 \cdot y(k-2) - a_3 \cdot y(k-3) \\ & - \dots - a_i \cdot y(k-i) \dots - a_{16} \cdot y(k-16) \\ & + b_1 \cdot u(k-1) + b_2 \cdot u(k-2) + b_3 \cdot u(k-3) \\ & + \dots + b_i \cdot u(k-i) \dots + b_{16} \cdot u(k-16) \\ & + \Delta w(k) \end{aligned} \quad \dots (24)$$

【0068】

ここで、

$y(k)$: 1周期後 (Δt [sec] 後) の出力ベクトル

$y(k-1)$: 現在の出力ベクトル

$y(k-i)$: ($i-1$) 周期 ($(i-1) \cdot \Delta t$ [sec] 前) の出力ベクトル

$u(k-1)$: 現在の入力ベクトル

$u(k-i)$: ($i-1$) 周期 ($(i-1) \cdot \Delta t$ [sec] 前) の入力ベクトル

$w(k)$: 雑音ベクトル (白色雑音)

であることは式(5)とほぼ同様である。

【0069】

しかしながら、ベクトル $u(k-i)$, $y(k-i)$, $w(k)$ の具体的内容は以下の式(25)～(27)のように表され、式(5)の場合とは異なっている。

$$u(k-i) = (\Delta T1in, \Delta T2in, \dots, \Delta T5in, RR) \quad \dots (25)$$

$$\begin{aligned} y(k-i) = & (\Delta T1c, \Delta T2c, \dots, \Delta T5c, \\ & \Delta T1e, \Delta T2e, \dots, \Delta T5e) \end{aligned} \quad \dots (26)$$

$$\Delta w(k) = (\Delta w1(k), \dots, \Delta w15(k)) \quad \dots (27)$$

【0070】

式(24)は、式(5)同様に16次のパラメトリックモデルであり、入力ベクトルが判れば1周期後の出力ベクトル $y(k)$ を逐次計算することができる。

このときパラメータ $a_0 \sim a_{15}$ 、 $b_0 \sim b_{15}$ 、雑音ベクトル $\Delta w(k)$ の決定には、式(5)と同様に部分空間法やARXモデルを用いることができる。

【0071】

また、データの補間工程(S17)もS14の場合とほぼ同様にして内挿法、および外挿法を用いて行える。従い、重複した説明を省くため、その詳細は省略する。

【0072】

(D) S13による温度予測結果とS16による誤差予測結果に基づき温度補正を行う(S18)。

【0073】

これは、以下の式(28)、(29)のようにウエハの予測温度 T' と予測誤差 ΔT を補正部としての加算部140により加算することで補正予測温度 T'' を算出できる。

$$T_{ic}'' = T_{ic}' + \Delta T_{ic} \quad (i=1 \sim 5) \quad \dots (28)$$

$$T_{ie}'' = T_{ie}' + \Delta T_{ie} \quad (i=1 \sim 5) \quad \dots (29)$$

この結果、ウエハの温度がより正確に予測することが可能になる。

【0074】

(E) 補正予測温度 T'' を基に加熱部を制御する(S19)。

これは加熱制御部160により補正予測温度 T'' と設定温度 T_{sp} を比較し、ヒータ31～35の適切な熱出力 $P_1' \sim P_5'$ を決定することで行われる。

【0075】

例えば、補正予測温度 T'' と設定温度 T_{sp} との差に応じてヒータ31～35の出力を決定することができる。

この制御も計算周期決定部170によって決定された計算周期 t_s に従って行われる。

【0076】

(その他の実施形態)

以上の発明の実施形態は、本発明の技術的思想の範囲内で、拡張、変更が可能である。

熱処理装置は、計算周期決定部と温度予測部の双方を備えなければならないものではなく、そのどちらか一方のみを備えても差し支えない。例えば、計算周期決定部はウエハ温度の実測を行う場合にも用いることができる。このとき計算周期決定部によって決定された計算周期に基づき、温度制御が効率的に行われる。

【0077】

モデルは必ずしも式(5)のようなパラメータモデルである必要はなく、適宜他のモデルを用いることができる。またモデルの次数は16に限られず8あるいは20等としても良い。

【0078】

ヒータは、区分されていなくても良いし、また区分の数も5には限られない。

熱処理装置は、縦型熱処理炉、あるいはバッチ炉に限らず、1枚ずつ熱処理を行う枚葉式の熱処理装置であってもよい。

【0079】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、精度良く被処理体の温度を予測することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明に係る熱処理装置の構成を示す一部断面図である。

【図2】 本発明に係る熱処理装置の構成を示す斜視図である。

【図3】 本発明に係る熱処理装置のコントローラの構成を示すブロック図である。

【図4】 コントローラによる制御手順を表すフロー図である。

【図5】 温度レシピの1例を表した表である。

【図6】 図5と同一の温度レシピを表現形式を変えて表したグラフである。

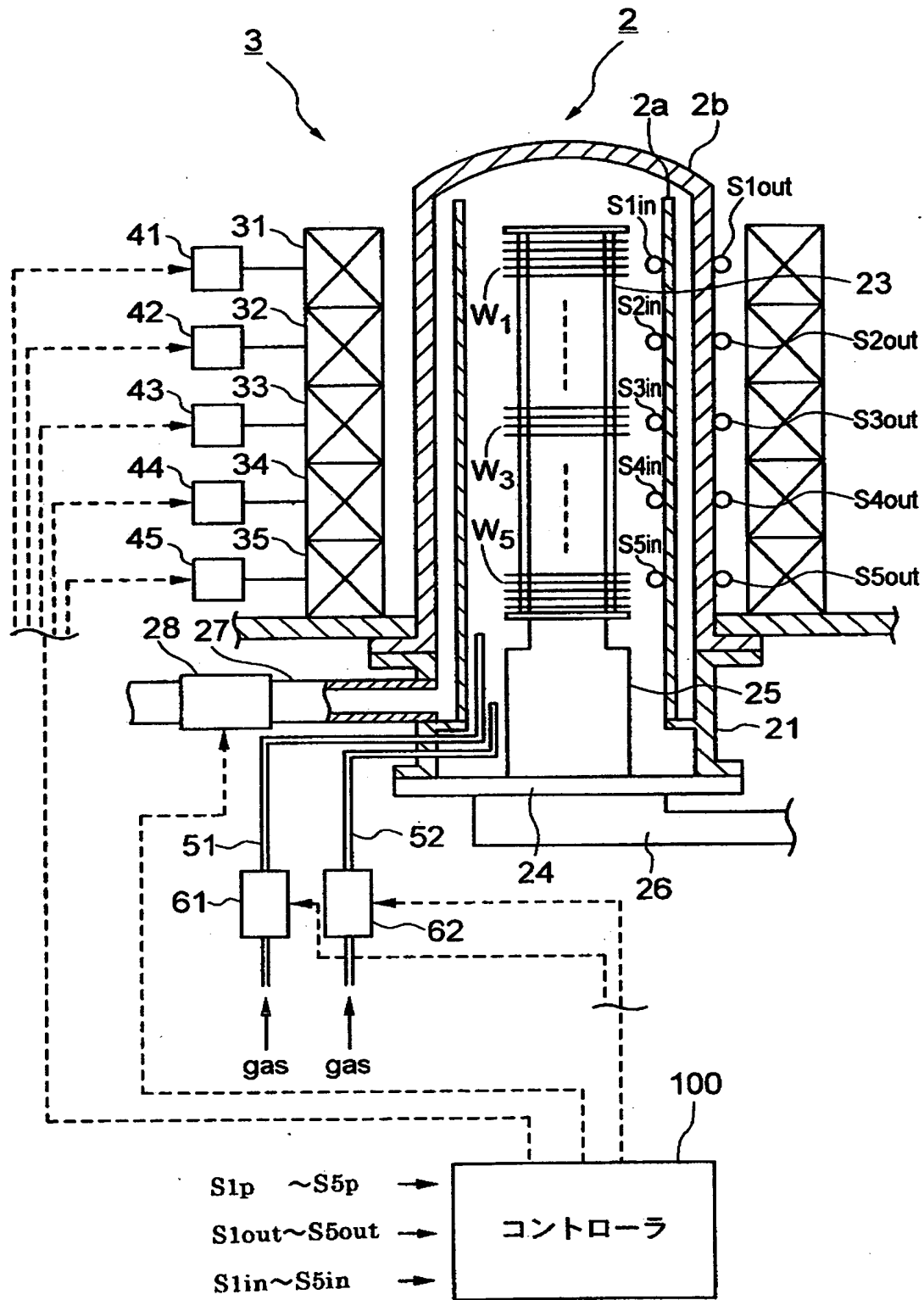
【符号の説明】

2 反応管

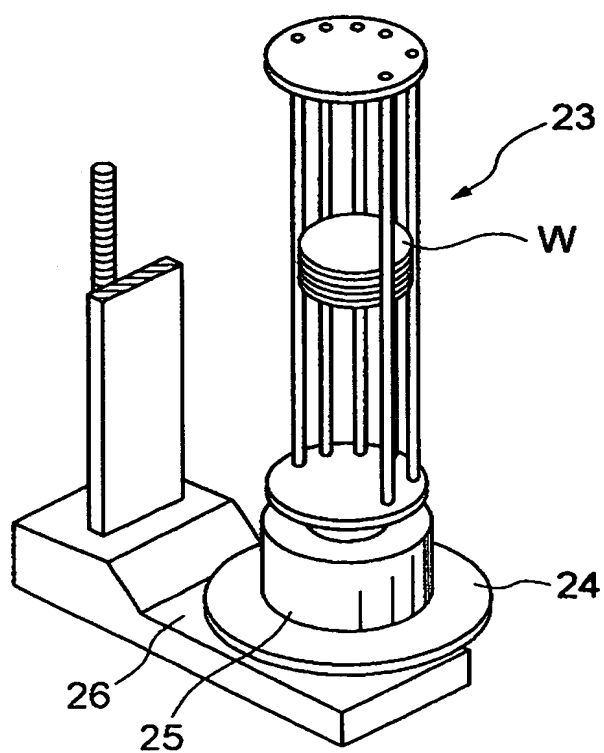
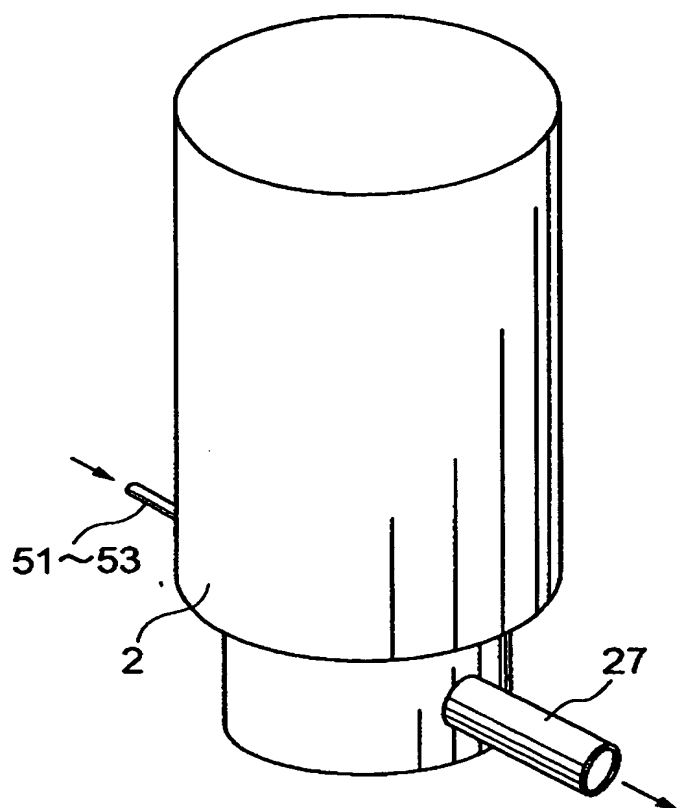
- 2 a 内管
- 2 b 外管
- 2 1 マニホールド
- 2 2 フェースプレート
- 2 3 ウエハポート
- 2 4 蓋体
- 2 4 前記蓋体
- 2 6 ポートエレベータ
- 2 7 排気管
- 2 8 圧力調整部
- 3、3 1 ~ 3 5 ヒータ
- 4 1 ~ 4 5 電力コントローラ
- 5 1、5 2 ガス供給管
- 6 1、6 2 流量調整部
- 1 0 0 コントローラ
- 1 1 0 A / D 変換部
- 1 2 0 温度予測部
- 1 2 2 第 1 のデータ補間部
- 1 2 4 温度予測モデル部
- 1 3 0 誤差予測部
- 1 3 2 第 2 のデータ補間部
- 1 3 4 誤差予測モデル部
- 1 4 0 加算部
- 1 5 0 温度レシピ保存部
- 1 6 0 加熱制御部
- 1 7 0 計算周期決定部

【書類名】 図面

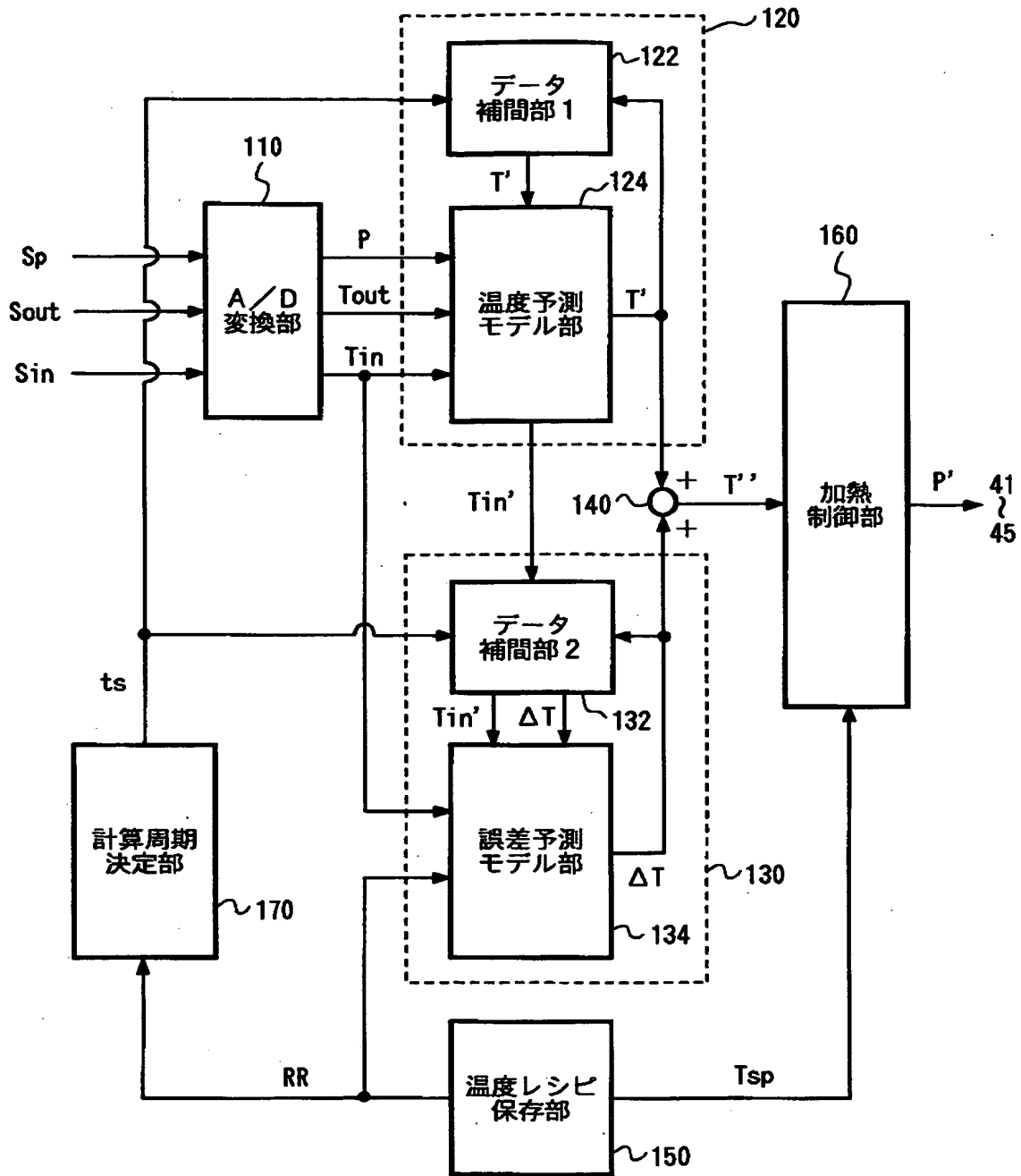
【図1】



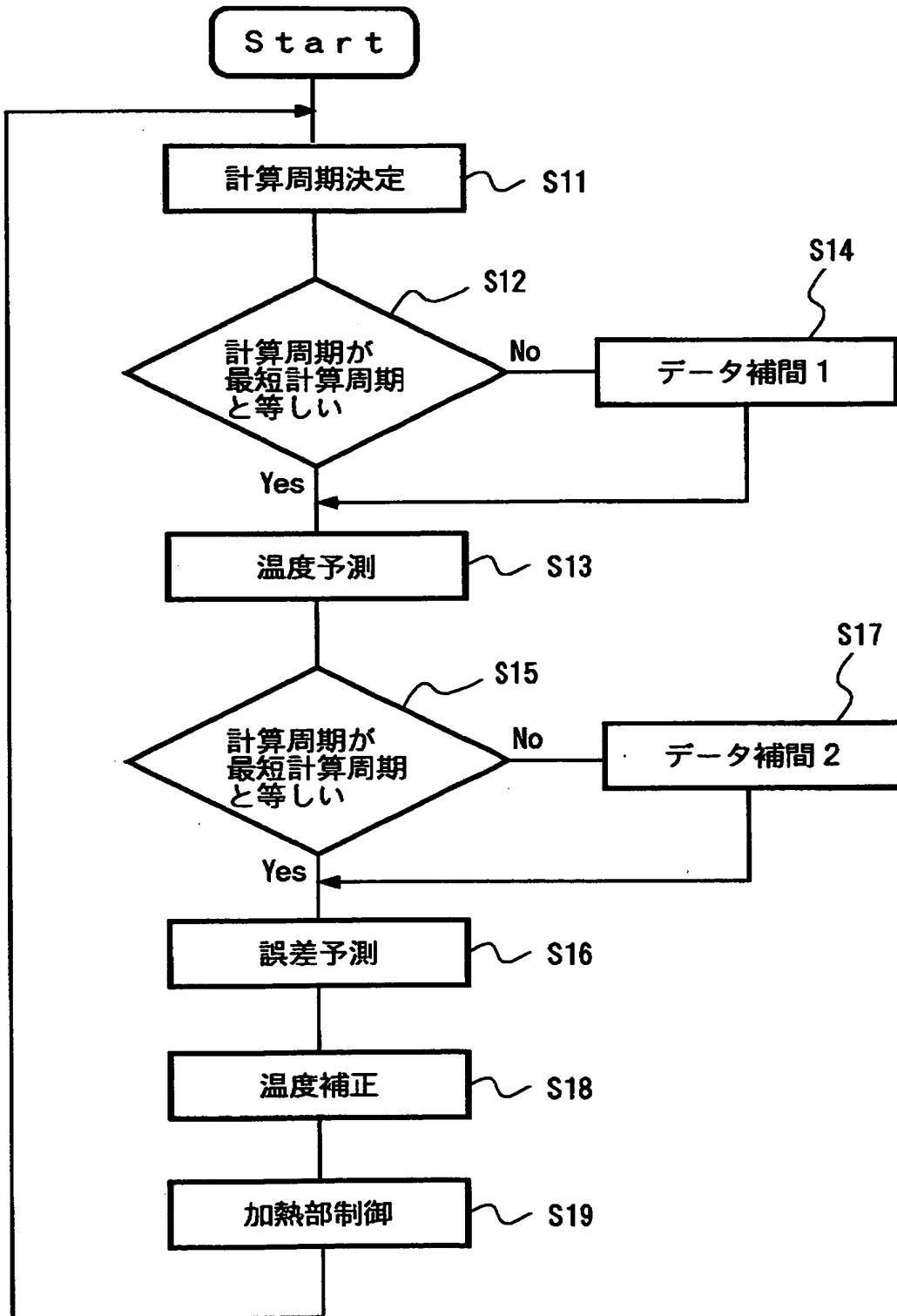
【図 2】



【図 3】



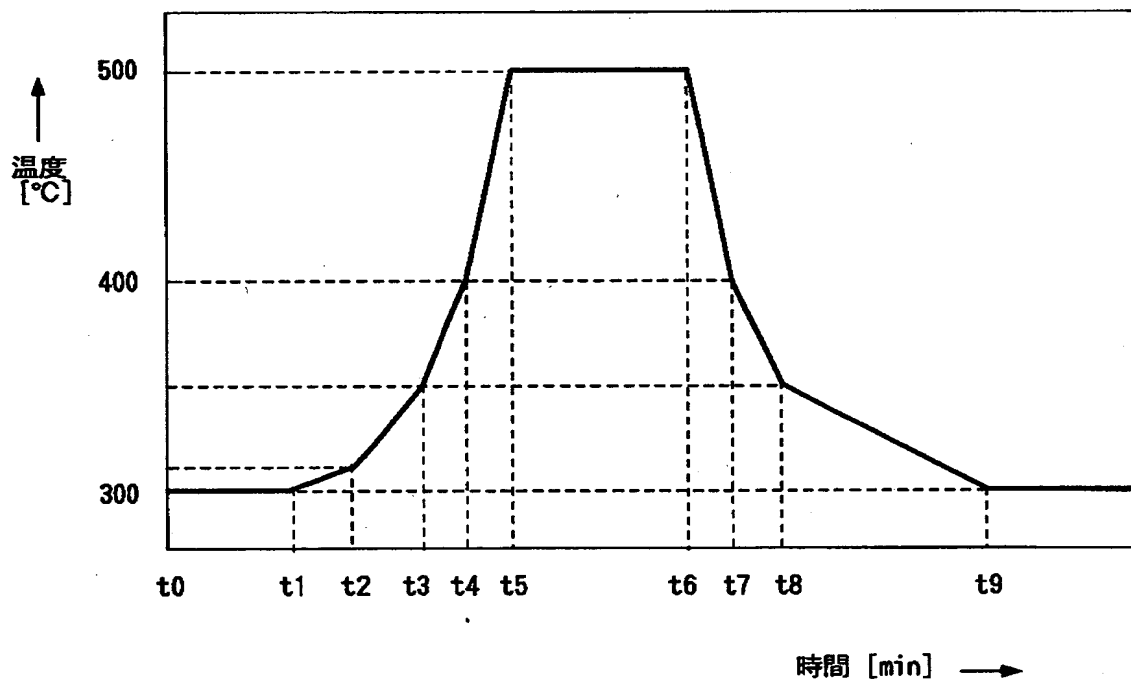
【図 4】



【図 5】

時間[min]	設定温度[°C] (Set Point)	設定温度の変化率 [°C/min] (Ramp Rate)
t 0 ~ t 1	3 0 0	0
t 1 ~ t 2	3 0 0 ~ 3 1 0	1 0
t 2 ~ t 3	3 1 0 ~ 3 5 0	2 0
t 3 ~ t 4	3 5 0 ~ 4 0 0	5 0
t 4 ~ t 5	4 0 0 ~ 5 0 0	1 0 0
t 5 ~ t 6	5 0 0	0
t 6 ~ t 7	5 0 0 ~ 4 0 0	- 1 0 0
t 7 ~ t 8	4 0 0 ~ 3 5 0	- 5 0
t 8 ~ t 9	3 5 0 ~ 3 0 0	- 1 0
t 9 ~	3 0 0	0

【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 被処理体を汚染するおそれがなく、しかも高い精度で温度制御を行うことを可能にする。

【解決手段】 被処理体と非接触の状態で温度を測定し、その結果に基づき被処理体の予測温度を算出する。更にこの予測温度の予測誤差を算出し、予測温度を補正する。

【選択図】 図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000219967]

1. 変更年月日	1994年 9月 5日
[変更理由]	住所変更
住 所	東京都港区赤坂5丁目3番6号
氏 名	東京エレクトロン株式会社